

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-107138

(43)Date of publication of application : 09.04.2003

(51)Int.Cl. G01R 31/3183
 G01R 31/28
 H01L 21/82
 H01L 21/822
 H01L 27/04
 // G06F 17/50

(21)Application number : 2001-305711

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 01.10.2001

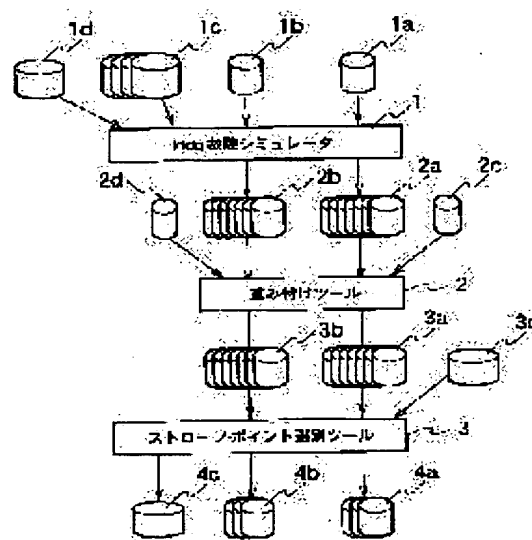
(72)Inventor : NOZUYAMA YASUYUKI

(54) TEST PATTERN SELECTION DEVICE AND TEST PATTERN SELECTION METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To select a test pattern capable of attaining the excellent test quality at irreducibly necessary strobe points.

SOLUTION: This device is constituted so that the weight is given to each failure in a failure model based on layout data by a weighting tool 2, and that detection/non-detection of the weighted failure is evaluated on each strobe point.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-107138
(P2003-107138A)

(43)公開日 平成15年4月9日(2003.4.9)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 1 R 31/3183		G 0 6 F 17/50	6 7 0 D 2 G 1 3 2
	31/28	G 0 1 R 31/28	Q 5 B 0 4 6
H 0 1 L 21/82			F 5 F 0 3 8
	21/822	H 0 1 L 27/04	T 5 F 0 6 4
	27/04	21/82	T

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-305711(P2001-305711)

(22)出願日 平成13年10月1日(2001.10.1)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 野津山 泰幸

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内

(74)代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

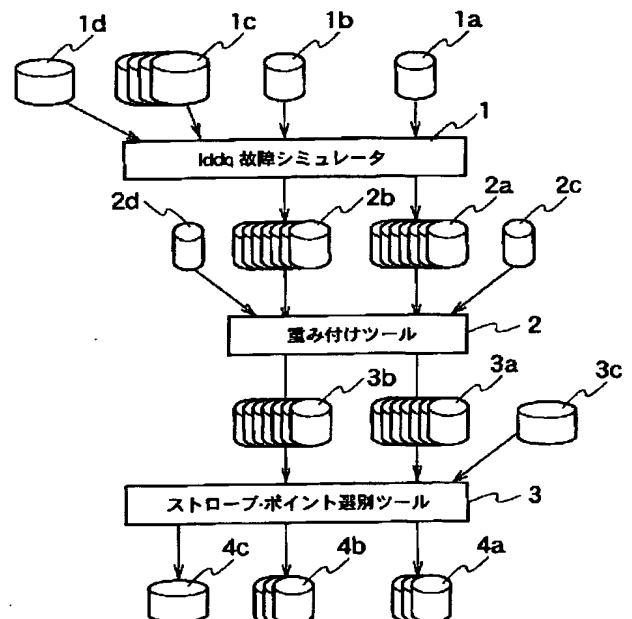
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 テストパターン選別装置及びテストパターン選別方法

(57)【要約】

【課題】 この発明は、必要最小限のストローブ・ポイントで優れたテスト品質を達成し得るテストパターンを選別することを課題とする。

【解決手段】 この発明は、重み付けツール2において、レイアウトデータに基づいて故障モデルの各故障に重み付けを行い、ストローブ・ポイント毎に重み付けされた故障の検出・未検出を評価するように構成される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体装置の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロブ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別装置であって、

第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力し、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションし、前記各ストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストを出力する故障シミュレータと、

前記第1の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストを入力し、それぞれのストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストを作成して出力する重み付けツールと、

前記第1の重み付き故障リストを入力し、重み付けされた第1の故障の検出率が最大となる最少数のストロブ・ポイントを選別するストロブ・ポイント選別ツールとを有することを特徴とするテストパターン選別装置。

【請求項2】 半導体装置（LSI）の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロブ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別装置であって、

第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、第2の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第2の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力し、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1ならびに第2の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションし、前記各ストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストと、前記各ストロブ・ポイント毎に第2の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第2の検出・未検出リストを出力する故障シミュレータと、

前記第1ならびに第2の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストと、第2の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第2の重みリストを入力し、それぞれのストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた

2

故障を示す第1の重み付き故障リストと、それぞれのストロブ・ポイント毎に第2の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第2の重み付き故障リストを作成して出力する重み付けツールと、前記第1ならびに第2の重み付き故障リストと、第1の故障に対する第2の故障の重みの割合を示す調整パラメータを入力し、重み付けされた第1の故障の検出率ならびに重み付けされた第2の故障の検出率が最大となる最少数のストロブ・ポイントを選別するストロブ・ポイント選別ツールとを有することを特徴とするテストパターン選別装置。

【請求項3】 前記第1又は第2の故障モデルは、ブリッジ故障からなり、

前記第1又は第2の検出・未検出リストは、ブリッジ故障を構成する回路の各ノードが“0”縮退になることによって故障検出となるブリッジ故障と、“1”縮退になることによって故障検出となるブリッジ故障とを区別してなることを特徴とする請求項1又は2記載のテストパターン選別装置。

【請求項4】 半導体装置（LSI）の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロブ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別方法であって、

第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力として、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションする第1のステップと、

前記第1のステップのシミュレーションの結果に基づいて、前記各ストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストを作成する第2のステップと、

前記第2のステップで作成された前記第1の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストを入力として、それぞれのストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストを作成する第3のステップと、

前記第3のステップで作成された前記第1の重み付き故障リストを入力として、重み付けされた第1の故障の検出率が最大となる最少数のストロブ・ポイントを選別する第4のステップとを有することを特徴とするテストパターン選別方法。

【請求項5】 半導体装置（LSI）の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロブ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパター

3

ン選別方法であって、

第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、第2の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第2の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力として、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1ならびに第2の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションする第1のステップと、

前記第1のステップのシミュレーションの結果に基づいて、前記各ストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストと、前記各ストロープ・ポイント毎に第2の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第2の検出・未検出リストを作成する第2のステップと、

前記第2のステップで作成された前記第1ならびに第2の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストと、第2の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第2の重みリストを入力として、それぞれのストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストと、それぞれのストロープ・ポイント毎に第2の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第2の重み付き故障リストを作成する第3のステップと、

前記第3のステップで作成された前記第1ならびに第2の重み付き故障リストと、第1の故障に対する第2の故障の重みの割合を示す調整パラメータを入力として、重み付けされた第1の故障の検出率ならびに重み付けされた第2の故障の検出率が最大となる最少数のストロープ・ポイントを選別する第4のステップとを有することを特徴とするテストパターン選別方法。

【請求項6】 前記第1又は第2の故障モデルは、ブリッジ故障からなり、

前記第1又は第2の検出・未検出リストは、ブリッジ故障を構成する回路の各ノードが“0”縮退になることによって故障検出となるブリッジ故障と、“1”縮退になることによって故障検出となるブリッジ故障とを区別してなることを特徴とする請求項4又は5記載のテストパターン選別方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、LSIのテストに使用されるテストパターンを選別するテストパターン選別装置及びテストパターン選別方法に関し、特にLSI

4

Iの故障検出率向上に効果的なテストパターンの選別と、その結果としてのテストパターンの有効な削減を図る技術に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ランダムロジック部分がCMOS回路により構成されたLSIが主流となっている。このようなLSIにおいてテストの品質を向上する（不良品が出荷される割合を削減する）ために、Iddqテストが利用されることが多くなってきている。CMOS回路において出力が確定した状態（以下、スタンバイ状態と呼ぶ）では、直流（DC）の電流パスが遮断され、回路が正常な場合は極めて微小な電流しか観測されない。Iddqテストは、これを利用して、スタンバイ状態でのDC電流を観測し、異常なリーク電流を伴うLSIの各種不良の検出を行なうものである。このIddqテストは、LSIに通常の機能動作を行わせるファンクションテストのテストパターンや、スキャンテスト手法に対応したATPG（Automatic Test Pattern Generation）ツールが発生するテストパターンのように、故障をLSIの外部端子まで伝播させて検出する必要がないため、効果的にテスト品質を向上させることができる。

【0003】Iddqのテスト時、DC電流を測定するための時刻（サイクル）をストロープ・ポイントと呼ぶ。複数のサイクルからなる複数ストロープ・ポイントによりテストパターンが構成される。ストロープ・ポイントは、上記のファンクションテストパターンやATPGによるテストパターンの中から選ばれるのが一般的である。ストロープ・ポイントをLSIに供給するにあたっては、LSI内部の故障を検出する対象以外の部分においてDC電流が流れないように注意する必要がある。

【0004】従来、LSIのテスト品質を判定するには、上記いずれのテストにおいても基本的に単一縮退故障モデルが用いられてきた。このモデルは、ゲートレベルの接続ネットで表現したLSI（ランダムロジック）内部の各接続ノード、ないしは接続ネットの構成要素である基本セルの各入出力端子が電源電圧またはグラウンドに固定（短絡）されている、という故障モデルである。この故障モデルは、簡単な構成でテスト品質（故障検出率）の算出が容易な割に、実際の製造現場や市場で不良率との相関が比較的強く認められている（故障検出率が高いほど不良率が低い）ため、広く利用されてきた。

【0005】従来の一般的なテスト品質の評価、向上のアプローチは、まずLSIに通常の機能動作をさせるファンクションテストパターン（適当なテストモード下で内部を動作させるテストパターンを含むこともある）を用いて、LSI内の故障検出対象部分に仮定された故障がどの程度検出されたかを評価する故障シミュレーションを実施して故障検出率を求める。この結果、故障検出率が不十分と判断された場合には、テストパターンを追

5

加作成して故障検出率の改善度を求める。それでも不充分と判断された場合には、さらにIddqテストを追加してテスト品質を向上させ、不良品が出荷される割合をさらに低減するといったものである。

【0006】大規模なLSIでは、スキャンテスト手法におけるATPGのテストパターンで十分な故障検出率が得られない場合には、Iddqテストを援用することもある。あるいは、Iddqテストだけを利用することもある。しかしながら、例えば自動車のエンジン・ブレーキを制御する制御用のLSIのように、極めて高い品質が要求されるLSIにおいては、ファンクションテストパターンにIddqテストを追加しても、なお十分な品質が得られない場合がしばしばある。この大きな原因の一つは、従来のテストでは単一縮退故障モデルしか考慮していなかったことである。

【0007】実際のLSIの製造現場では、ダストと呼ばれる異物がLSIに付着して不良を引き起こすことがある。最近のLSIでは基本セル同士を接続する接続配線（ノード）のレイアウト領域が大きくなっているため、この領域へのダストの付着が問題となってきた。したがって、ダストが隣接する接続配線に跨って付着して故障するブリッジ（短絡）故障の原因となる場合も無視できない割合で発生している。また、隣接する配線間では、メタル（金属）特にアルミ（Al）のエッチング残りによるブリッジ故障も発生しうる。

【0008】こうしたブリッジ故障を検出するためには、少なくともダストが付着している隣接配線のそれぞれに異なる論理値（0又は1レベル）を与え、それによって異常DC電流が流れることを観測する必要がある。しかし、周囲の条件を考慮しない縮退故障モデルでは、ブリッジ故障の検出率を評価することはできなかった。したがって、極めて高い品質のテストを達成するためには、関連（隣接）する2つの配線によって指定されるブリッジ故障モデルを導入し、ブリッジ故障検出率を評価、向上する必要があった。

【0009】ここで、ブリッジ故障の導入にあたって注意すべきことは、単一縮退故障のように単純にLSIのゲートレベルの接続ネット上のノード、ないしは基本セルの入出力端子に故障の存在を仮定し、故障検出率を評価することは現実的でないことである。ブリッジ故障の数は、対象部分の接続配線（ノード）の数をNとすると、 $N \times (N - 1) / 2$ となる。このため、ブリッジ故障数の計算時間は膨大となり、故障検出率の算出が極めて困難であった。

【0010】また、実際のブリッジ故障は、回路のレイアウト上で近接する部分、主に隣接配線間でしか発生しないため、算出した結果が殆ど妥当性を持たない。即ち、特にブリッジ故障においては、回路のレイアウトデータから対応するレイアウト要素を抽出し、レイアウト要素とブリッジ故障との対応付けを行なうことが不可欠

6

である。この対応付けにより、各ブリッジ故障には、例えば隣接配線の長さをレイアウトから抽出した情報の一つとして付加することが可能となる。

【0011】隣接配線間のブリッジ故障が主にダストやメタルのエッチング残りによって発生することを考慮すると、隣接配線の長さを各ブリッジ故障の重みと定義することは十分な妥当性がある。一方、単純に検出された総故障数を故障対象の総故障数で除した値によってブリッジ故障検出率を定義することは、このブリッジ故障検出率が実際の不良原因に正しく対応している訳ではないので、故障検出を評価する際に誤った判断に至るおそれがあった。

【0012】さて、従来のIddqテストのDC電流テストは、一般的にファンクションテストに比べ多くの時間が必要になっていた。このため、多くの故障を少ないストロブ・ポイントで検出できるように、故障検出率の高いストロブ・ポイントを優先的に選別するツール（テストパターン選別装置）が既に幾つか市販されている。このようなツールの中には、単一縮退故障だけでなくブリッジ故障も同様に選別できるようなツールもある。

【0013】図7にこのテストパターン選別装置の概略構成を示す。図7において、テストパターン選別装置は、Iddq故障シミュレータ71とストロブ・ポイント選別ツール72を備え、単一縮退故障リスト71a、ブリッジ故障リスト71b、複数のストロブ・ポイントからなるテストパターン71c、および制約条件71dがIddq故障シミュレータ71に入力される。Iddq故障シミュレータ71はテストパターン71cに基づいてIddq故障シミュレーションを実行し、実行結果として全てのストロブ・ポイント毎の縮退故障の検出・未検出リスト72aおよびブリッジ故障の検出・未検出リスト72bを出力する。故障シミュレータ71の種類によっては、縮退故障とブリッジ故障とで別々に実行する必要がある。

【0014】Iddq故障シミュレータ71から出力された縮退故障の検出・未検出リスト72aおよびブリッジ故障の検出・未検出リスト72bは、ストロブ・ポイント選別ツール72に入力され、これらのリストに基づいて、ストロブ・ポイント選別ツール72において、故障検出数を総仮定故障数で除した単純な故障検出率を最少数のストロブ・ポイントで実現できるように、ストロブポイントの選別が実施される。制約条件71dは、テスト対象のLSI内部で一部CMOS回路の要件が成立せず、DC電流が測定できない（利用できない）ストロブ・ポイントがある場合に、そのストロブ・ポイントに対応する条件を記述したものである。Iddq故障シミュレータ71は、この条件に合致したストロブ・ポイントに関する検出・未検出故障リストを出力しない。

【0015】ストロブ・ポイント選別ツール72は、

10

20

30

40

50

7

最終的に選別したストロブ・ポイントの各々に対応する縮退故障の検出・未検出リスト73a、ブリッジ故障の検出・未検出リスト73b、および選別したストロブ・ポイントに関する情報（時刻）や最終結果としての縮退故障およびブリッジ故障の検出率（総仮定故障数、検出故障数）や全ストロブ・ポイントの検出・未検出リスト等の選別結果情報73cを出力する。リスト73a、73bからは、縮退故障およびブリッジ故障の検出・未検出に関する詳細な情報、例えば対象LSI内部の各機能ブロック毎の未検出故障数等を抽出することができる。なお、この抽出に関しては、この発明の本質と無関係なため、詳細な説明は省略する。

【0016】このようなストロブ・ポイントの選別においては、縮退故障もブリッジ故障も区別なく同じ重みで扱われて、ストロブ・ポイントが選別されていた。また、縮退故障またはブリッジ故障のいずれかだけでも選別は可能である。しかしながら、この選別装置においては、故障とレイアウトデータとの対応付けという概念がなかった。すなわち、それぞれの故障に対して、レイアウトデータを加味したいわゆる重みを付けてストロブ・ポイントを選別する機能がなかった。前述したように、ブリッジ故障はレイアウトデータとの対応付けが必要であるにもかかわらず、それがなされていなかったため、少なくともブリッジ故障検出率の向上に関しては、有効な選別ができるようになっていなかった。このため、テスト時間が長くなり、テストコストが増加してしまうという問題があった。

【0017】また、縮退故障に関しても、本来は適当なレイアウトデータ要素を重みとして利用することで、故障検出率と不良品発生率との相関をより強めることができると判断される。しかし、従来の選別装置にはそのような機能を備えたものがなかった。

【0018】さらに、従来の選別装置には、縮退故障とブリッジ故障とをどの程度の割合で重み付けをして選別するかを設定できる機能もなく、縮退故障とブリッジ故障のバランスを最適な状態にしてストロブ・ポイントを選別することができなかった。このため、全体としてテスト品質を最適にする、すなわち所望のテスト品質を最少のストロブ・ポイントで達成することができなかった。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、LSIをテストする際に使用されるテストパターンのストロブ・ポイントを選別する従来の選別装置においては、ブリッジ故障ならびに縮退故障とLSIのレイアウトデータとの対応付けが行われていなかった。また、縮退故障とブリッジ故障との検出割合の調整を行うことができなかった。

【0020】このため、最少のストロブ・ポイントで優れたテスト品質を得ることが困難になるといった不具

8

合を招いていた。一方、高いテスト品質を達成しようとすると、多くのストロブ・ポイントが必要になってテスト時間が長くなり、テストコストの上昇を招いていた。

【0021】そこで、この発明は、上記に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、必要最小限のストロブ・ポイントで優れたテスト品質を達成し得るテストパターンを選別するテストパターン選別装置及びテストパターン選別方法を提供することにある。

10 【0022】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、課題を解決する第1の手段は、半導体装置の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロブ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別装置であって、第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力し、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションし、前記各ストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストを出力する故障シミュレータと、前記第1の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストを入力し、それぞれのストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストを作成して出力する重み付けツールと、前記第1の重み付き故障リストを入力し、重み付けされた第1の故障の検出率が最大となる最少数のストロブ・ポイントを選別するストロブ・ポイント選別ツールとを有することを特徴とする。

20
30
40
50 【0023】第2の手段は、半導体装置（LSI）の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロブ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別装置であって、第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、第2の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第2の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力し、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1ならびに第2の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションし、前記各ストロブ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストと、前記各ストロブ・ポイント毎に第2の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第2の検出・未検出リストを出力する故障シ

9

ミュレータと、前記第1ならびに第2の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストと、第2の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第2の重みリストを入力し、それぞれのストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストと、それぞれのストロープ・ポイント毎に第2の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第2の重み付き故障リストを作成して出力する重み付けツールと、前記第1ならびに第2の重み付き故障リストと、第1の故障に対する第2の故障の重みの割合を示す調整パラメータを入力し、重み付けされた第1の故障の検出率ならびに重み付けされた第2の故障の検出率が最大となる最少数のストロープ・ポイントを選別するストロープ・ポイント選別ツールとを有することを特徴とする。

【0024】第3の手段は、半導体装置(LSI)の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロープ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別方法であって、第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力として、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションする第1のステップと、前記第1のステップのシミュレーションの結果に基づいて、前記各ストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストを作成する第2のステップと、前記第2のステップで作成された前記第1の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストを入力として、それぞれのストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストを作成する第3のステップと、前記第3のステップで作成された前記第1の重み付き故障リストを入力として、重み付けされた第1の故障の検出率が最大となる最少数のストロープ・ポイントを選別する第4のステップとを有することを特徴とする。

【0025】第4の手段は、半導体装置(LSI)の故障を評価する際に前記半導体装置に与えられる複数のストロープ・ポイントからなるテストパターンを選別するテストパターン選別方法であって、第1の故障モデルに基づいて前記半導体装置で想定される故障を示す第1の故障リストと、第2の故障モデルに基づいて前記半導体

10

装置で想定される故障を示す第2の故障リストと、前記半導体装置をテスト動作させる際の入力信号となるテストパターンを入力として、前記テストパターンに基づいて前記半導体装置をテスト動作させ、前記第1ならびに第2の故障リストに示す前記半導体装置の故障をシミュレーションする第1のステップと、前記第1のステップのシミュレーションの結果に基づいて、前記各ストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第1の検出・未検出リストと、前記各ストロープ・ポイント毎に第2の故障モデルに基づいた検出あるいは未検出の故障を示す第2の検出・未検出リストを作成する第2のステップと、前記第2のステップで作成された前記第1ならびに第2の検出・未検出リストと、第1の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第1の重みリストと、第2の故障モデルに基づいたそれぞれの故障に対して、前記半導体装置のレイアウトデータに基づいて設定される重みを示す第2の重みリストを入力として、それぞれのストロープ・ポイント毎に第1の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第1の重み付き故障リストと、それぞれのストロープ・ポイント毎に第2の故障モデルにおけるそれぞれの故障に重みを付けた故障を示す第2の重み付き故障リストを作成する第3のステップと、前記第3のステップで作成された前記第1ならびに第2の重み付き故障リストと、第1の故障に対する第2の故障の重みの割合を示す調整パラメータを入力として、重み付けされた第1の故障の検出率ならびに重み付けされた第2の故障の検出率が最大となる最少数のストロープ・ポイントを選別する第4のステップとを有することを特徴とする。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いてこの発明の実施形態を説明する。

【0027】図1はこの発明の一実施形態に係るテストパターン選別装置の構成を示す図である。図1において、この実施形態の選別装置は、Iddq故障シミュレータ1と、重み付けツール2ならびにストロープ・ポイント選別ツール3を備えて構成され、単一縮退故障モデルならびにブリッジ故障モデルの複数の故障モデルのそれぞれの故障に対して重み付けを行い、単一縮退故障については、例えば配線長、最少配線間コンタクト数等、またブリッジ故障については、例えば隣接配線長、配線間隔等、レイアウト情報から抽出した重みを考慮してストロープ・ポイントを選別し、また選別全体に占める縮退故障とブリッジ故障の重みの割合を外部から設定できるようにし、これにより、単一縮退故障モデルおよびブリッジ故障モデルの双方にとって最適なストロープポイントを選別して、最少のストロープポイントで高いテスト品質を達成し、テストパターン数ならびにテスト時間(テ

11

ストコスト)の削減を図っている。

【0028】Iddq故障シミュレータ1は、想定される縮退故障の縮退故障リスト1 a、想定されるブリッジ故障のブリッジ故障リスト1 b、複数のテストストロブからなるテストパターン1 c、前述したと同様な制約条件1 dを入力し、これらの入力に基づいて前述したIddqテストのシミュレーションを実施する。シミュレーションの結果、Iddq故障シミュレータ1は、各ストロブ・ポイント毎に検出ならびに未検出の故障を示す縮退故障の検出・未検出リスト2 aと、各ストロブ・ポイント毎に検出ならびに未検出のブリッジ故障を示すブリッジ故障の検出・未検出リスト2 bを出力する。

【0029】重み付けツール2は、Iddq故障シミュレータ1から出力された縮退故障の検出・未検出リスト2 aならびにブリッジ故障の検出・未検出リスト2 bを受け

(重みなしのリスト)

故障A D
故障B U →
故障C D

(D: detected (検出)、U: undetected (未検出))

ここで「故障A」等は、縮退故障の場合は、例えばLSI内部のノード名(NodeX)と、「0」への縮退(sa0: stuck-at 0)か「1」への縮退(sal: stuck-at 1)かを区別する情報(それぞれsa0、sal)によって構成されている。また、「NodeX」等は対象のロジック回路の内部の接続ノードを概念的に示したものであり、通常は、例えば「I15/Ixyz/A[12]」のように、接続ネットの階層を反映した記載のものが用いられる。

【0031】図2に縮退故障の場合の重みなし故障リスト、及び重み付き故障リストの一例を示す。図2において、同一ノードのsa0とsalの重みは同じである。図3にブリッジ故障の場合の重みなし故障リスト、及び重み付き故障リストの一例を示す。

【0032】図3において、ブリッジ故障の場合には、「故障A」等は対応する配線の組(ペア)、例えば「NodeX NodeY」で表現される。この場合も、NodeX等は対象のロジック回路の内部の接続ノードを概念的に示したものであり、具体的な表現は例えば上記と同様に接続ネットの階層を反映したものとなる。

【0033】ストロブ・ポイント選別ツール3は、重み付けツール2から出力された重み付き縮退故障リスト3 aならびに重み付きブリッジ故障リスト3 bを受けて、さらに縮退故障とブリッジ故障の重みの割合を調整するパラメータとなる重み情報3 cを入力し、図4に示す選別処理フローにしたがってストロブ・ポイントを選別し、最終的に選別されたストロブ・ポイントの各々に対応する縮退故障の重み付き検出・未検出リスト4 a、最終的に選別されたストロブ・ポイントの各々に対応するブリッジ故障の重み付き検出・未検出リスト4

12

て、さらに各縮退故障の重みを示す縮退故障重みリスト2 c、ならびに各ブリッジ故障の重みを示すブリッジ故障重みリスト2 dを入力し、縮退故障重みリスト2 cに基づいて縮退故障検出・未検出リスト2 aの検出された故障に重みを付け、重み付き縮退故障リスト3 aを出力し、ブリッジ故障重みリスト2 dに基づいてブリッジ故障検出・未検出リスト2 bの検出された故障に重みを付け、重み付きブリッジ故障リスト3 bを出力する。縮退故障ならびにブリッジ故障の重みは、LSIのレイアウトデータに基づいて設定され、ブリッジ故障の重みは例えば近接配線間の併走距離等に応じて設定され、縮退故障の重みは例えば配線長や電源配線との併走距離等に応じて設定される。重みのない故障リストから重み付きの故障リストへの変更は、例えば次のようになる。

【0030】

(重み付きのリスト)

重み

故障A D WA (ウェイトA)
故障B U WB (ウェイトB)
故障C D WC (ウェイトC)

b、ならびに選別したストロブ・ポイントに関する情報(パターン名及び時刻)や最終結果としての縮退故障およびブリッジ故障の重み付き検出率(想定される全故障数、検出故障数)、各故障の検出・未検出等の選別結果情報4 cを出力する。

【0034】重み情報3 cは、ストロブ・ポイントの選別にあたって縮退故障とブリッジ故障との間に設定される重みである。重み付き故障検出率は、それぞれ以下のように定義される。

【0035】

【数1】重み付き縮退故障検出率 = (検出された縮退故障の重みの総和) / (全縮退故障の重みの総和)

【数2】重み付きブリッジ故障検出率 = (検出されたブリッジ故障の重みの総和) / (全ブリッジ故障の重みの総和)

縮退故障の重み付き検出・未検出リスト4 a、ブリッジ故障の重み付き検出・未検出リスト4 bから縮退故障およびブリッジ故障の検出・未検出に関する詳細情報、例えば対象LSI内部の各機能ブロック毎の重み付き未検出故障数等を抽出することができるが、本発明の本質とは直接関係がないため、ここでは詳しい説明は省略する。

【0036】図4にストロブ・ポイント選別ツール3が行う選別処理のフローチャートを示す。図4に示す処理フローは、検出故障重みが完全に「0」になるまで繰り返行われる。このため、第1回目の処理と第2回目以降の処理を区別するために、第2回目以降の処理については「追加」を付記する。まず、評価対象の未検出故障重みリストA0と各ストロブ・ポイントによる(追

13

加) 検出故障重みリストを比較し、ストロブ・ポイント毎の検出縮退故障重み又は追加検出縮退故障重み(検出された縮退故障に対応する重みの積算総和)と、検出ブリッジ故障重み又は追加検出ブリッジ故障重み(検出されたブリッジ故障に対応する重みの積算総和)を求める(ステップ30)。ここで、追加検出重みが縮退故障、ブリッジ故障のいずれにおいても“0”のストロブ・ポイントは選別から除外される。さらに、全て計算終了時点において、追加検出故障重みが“0”でないテストパターンがあるか否かが判別され(ステップS31)、いずれのストロブ・ポイントにおいても追加検出重みが“0”であると、処理フローは終了となる。

【0037】一方、追加検出故障重みが“0”でないテストパターンがある場合には、上記で計算した各ストロブ・ポイント毎に、以下の評価関数EV(SP)に従って縮退故障およびブリッジ故障の検出効率を求め、 $EV(SP) \geq \alpha$ ($0 < \alpha \leq 1$)を満たすストロブ・ポイントを選別候補として選び出し(ステップ32)、評価対象未検出故障重みリストA0を、候補ストロブポイントによる評価対象未検出故障重みリストB0とする(ステップS33)。

【0038】評価関数EV(SP)、ならびに規格化された追加縮退故障検出重み、規格化された追加ブリッジ故障検出重みは、以下に示すように定義される。

【0039】

【数3】 $EV(SP) = r \times (\text{規格化された追加検出縮退故障重み}) + (1 - r) \times (\text{規格化された追加検出ブリッジ故障重み})$

(SP: ストロブ・ポイント、r: 調整パラメータ ($0 \leq r \leq 1$))

規格化された追加縮退故障検出重み = (そのストロブ・ポイントで追加検出された縮退故障重みの総和) / (対象の全ストロブ・ポイントの各々で追加検出された全縮退故障重みの総和の最大値)

規格化された追加ブリッジ故障検出重み = (そのストロブ・ポイントで追加検出されたブリッジ故障重みの総和) / (対象の全ストロブ・ポイントの各々で追加検出された全ブリッジ故障重みの総和の最大値)

ここで、調整パラメータrは、重み情報3cとして与えられ、縮退故障とブリッジ故障との重み付けを調整するためのパラメータである。調整パラメータrの値が大きいと、ブリッジ故障に対して縮退故障の重みをより重視することになり、重み付きの縮退故障検出率を高めるストロブ・ポイントが優先的に選別されていくことになる。r=1の場合は、ブリッジ故障に関する情報が全く無視される。すなわち、重み付き縮退故障のみでストロブ・ポイントの選別が行われることになる。これを利用して、ブリッジ故障を考慮せず、重み付き縮退故障のみを考慮したストロブポイント選別装置を構成することは容易である。逆に、調整パラメータrの値を小さく

14

すると、重み付きのブリッジ故障検出率を高めるストロブ・ポイントが優先的に選別されることになる。r=0の場合は、縮退故障に関する情報が全く無視される。すなわち、重み付きブリッジ故障のみでストロブ・ポイントの選別が行われることになる。これを利用して、縮退故障を考慮せず、重み付きブリッジ故障のみを考慮したストロブポイント選別装置を構成することは容易である。

【0040】次に、各ストロブ・ポイントでの検出故障重みリストを利用して、選別候補のストロブ・ポイントによる評価対象未検出故障重みリストB0の検出重み評価を行い、検出された故障を除外した新規評価対象未検出故障重みリストB1を作成し(ステップS34)、最初のストロブ・ポイントが選別した故障重み $\times \beta$ 以上検出したかを判別し(ステップS35)、新規評価対象未検出故障重みリストB1を選別候補のストロブ・ポイントによる評価対象未検出故障重みリストB0とし(ステップS36)、全ての候補ストロブ・ポイントの評価を終了したか否かを判別し(ステップS37)、全ての候補ストロブ・ポイントの評価が終了するまで、上記ステップS34～ステップS37の処理ループを繰り返し行う。

【0041】すなわち、上記ステップS32で選ばれたストロブ・ポイントに対して、最も評価関数EV(SP)が大きいのものから選別確定し、その結果元の縮退故障、ブリッジ故障の未検出がどのように変化するかを計算し、その結果を2回目以降の処理におけるストロブ・ポイントがどのように追加検出できるかを評価する。これを順次繰り返し、全体として効率的に未検出故障を検出している幾つかのストロブ・ポイントを選び出す。具体的には、以下の条件のものを選択する。

【0042】

【数4】 $EV(SP) \geq \beta \times (EV(SP_{best}) - \text{可能な最低の評価値}(0))$

($0 < \beta \leq 1$)、(EV(SP_{best}): 最も高い評価関数値)

このステップS34～ステップS37の処理フローは、似たようなストロブ・ポイントが重複選別され、選別されるストロブ・ポイントの数が不用意に増加するのを防ぐためのものである。

【0043】次に、追加検出故障重みが“0”のテストパターンが残っているか否かが判別され(ステップS38)、残っていない場合には処理は終了し、まだ残っている場合には、選別されたストロブ・ポイントに対応した検出・未検出重みリストを作成し(ステップS39)、ステップ30に戻る。このような処理フロー(ステップ30～ステップ39)は、追加検出故障重みが完全に“0”になるまで続けられる。

【0044】なお、ストロブ・ポイント数を最少にした場合には、図4に示す上記処理フローにおいて、ス

15

テップ32の処理で最も評価の高いストロブ・ポイントのみを選別し、ステップ33～ステップ37の処理を省略すればよい。但し、この場合には、選別にかかる時間が大幅に増加することがある。

【0045】このように上記実施形態においては、レイアウトデータに基づいて縮退故障とブリッジ故障に重み付けを行い、重み付けされた縮退故障ならびにブリッジ故障に基づいて故障検出率が高いストロブ・ポイントが順次選別されるので、実際の不良発生と強い相関のある必要最少限のストロブ・ポイントを優先的に選別することが可能となる。これにより、テスト品質の向上とともに、テスト時間（コスト）の削減を実現できる。

【0046】次に、この発明の他の実施形態について説明する。

【0047】先の実施形態では、縮退故障とブリッジ故障はそれぞれ独立して別々に扱っていたが、実際には、縮退故障モデルとブリッジ故障モデルの間には以下のような相関関係がある。例えば、ノード（Node）A＝1かつノードB＝0の場合は、ノードAは“0”縮退故障が検出され、ノードBは“1”縮退故障が検出され、かつノードA－Bはブリッジ故障が検出される。また、ノード（Node）A＝0かつノードB＝1の場合には、ノードAは“1”縮退故障が検出され、ノードBは“0”縮退故障が検出され、かつノードA－Bはブリッジ故障が検出される。

【0048】このような相関関係を考慮すると、縮退故障の未検出リストとブリッジ故障の未検出リストを関連づけて選択することが望ましい。さらには、同一のブリッジ故障について、縮退故障が“1”かつ“0”、あるいは“0”かつ“1”の検出、未検出を区別したリストを用意することが、縮退故障モデルならびにブリッジ故障モデルの双方の故障モデルをお互いに考慮したストロブ・ポイントの選別を行う上で効果があることがわかる。なお、この場合に、取得するべきデータは2倍となる。

【0049】図5に縮退故障とブリッジ故障の相関関係を考慮した場合の故障リストの一例を示す。図5において、従来のブリッジ故障リストに加え、“1”、“0”の値で構成される列を持っており、第1の列に記載されたノードが“0”になることによって検出とされるブリッジ故障か、あるいはノードが“1”になることによって検出とされるブリッジ故障かを区別できるようになっている。

【0050】この実施形態では、縮退故障検出とブリッジ故障検出の効率を統一的に評価できるようにするため

$$\begin{aligned} & \text{(そのストロブ・ポイントで追加検出された Bridge 故障重みの総和)} = \\ & \sum_{\text{追加検出があった nodeA}} \sum_{\text{全ての nodeA で検出された値 } x \text{ (0or1)}} \text{evbr}(\text{nodeA}, x) \end{aligned}$$

16

に、選別対象となる各ストロブ・ポイントでの各ノード、例えばnodeAのブリッジ故障の検出効率をノードの値が0、1の場合で区別し、以下のように計算する。

【0051】

【数5】

$$\text{evbr}(\text{nodeA}, 0) = \frac{\sum_{\substack{\text{("1" となる、nodeA に} \\ \text{隣接する全ての node i)}}} \text{wbr}(\text{nodeA}, \text{node i})}{2}$$

10

$$\text{evbr}(\text{nodeA}, 1) = \frac{\sum_{\substack{\text{("0" となる、nodeA に} \\ \text{隣接する全ての node i)}}} \text{wbr}(\text{nodeA}, \text{node i})}{2}$$

上式において、wbr(nodeA, nodei)は、nodeAとnodeiとの間のブリッジ故障重みである。一般に、あるノードは他の幾つかのノードと近接している。例えば図6に示すように、NodeAの配線はNodeB、C、Dと近接（斜線部分）している。従って、あるノードから見た場合、ブリッジ故障は複数存在していることになり、重みの計算では上式のようにこれらとの間の重みの内、論理値の条件を満たすもの（“0”対“1”、または“1”対“0”）を全て足し合わせる必要がある。但し、対の関係になっているため、即ち一方のノードから見て検出になっていればもう一方のノードでも検出になるため、それぞれのノードには1/2の重みを割り当てるようにする。

【0052】ストロブ・ポイント毎の縮退故障およびブリッジ故障の評価関数EV（SP）は、先の実施形態と同様に、以下のように表現される。

【0053】

【数6】 $EV(SP) = r \times (\text{規格化された追加検出縮退故障重み}) + (1 - r) \times (\text{規格化された追加検出ブリッジ故障重み})$

（SP：ストロブ・ポイント、r：調整パラメータ（ $0 \leq r \leq 1$ ））

規格化された追加縮退故障検出重み＝（そのストロブ・ポイントで追加検出された縮退故障重みの総和）／（対象の全てのストロブ・ポイントの各々で追加検出された全縮退故障重みの総和の最大値）

規格化された追加ブリッジ故障検出重み＝（そのストロブ・ポイントで追加検出されたブリッジ故障重みの総和）／（対象の全てのストロブ・ポイントの各々で追加検出された全ブリッジ故障重みの総和の最大値）

但し、そのストロブ・ポイントで追加検出されたブリッジ故障重みの総和は、以下ようになる。

【0054】

【数7】

実際にストロブ・ポイントを選別した後、未検出な故障を元に評価関数EV（SP）等を再度計算し、次の選

別を実施するといった、選別フローについては、先の実施形態と同様に行なうことができる。

【0055】このような実施形態においては、先の実施形態の効果に加えて、縮退故障とブリッジ故障の双方の相関関係を考慮したストロブ・ポイントの選別を効果的に行うことができる。

【0056】なお、上記それぞれの実施形態において、例えばIddq故障シミュレータ1に予め重みが付加された故障リストを入力するようにする（Iddq故障シミュレータは重み情報を無視するような構成にする）等、処理フローを若干変更して実施するようにしてもよい。また、Iddq故障シミュレータに用いられるテストパターンは、ファンクションテストパターンに限らず、ATPGのパターンであってもよい。さらに、複数の故障モデルは、縮退故障やブリッジ故障に限ることはなく、他の故障モデル例えばオープン故障モデルであってもよく、故障シミュレータもオープン故障対応のシミュレータであってもよい。

【0057】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、レイアウトデータに基づいて故障モデルの各故障に重み付けを行い、ストロブ・ポイント毎に重み付けされた故障の検出・未検出を評価するようにしたので、故障検出率の高い必要最少限のストロブ・ポイントを優先的に選別することが可能となる。これにより、テスト品質の向上とともに、テスト時間（コスト）の削減を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施形態に係るテストパターン選別装置の構成を示す図である。

【図2】縮退故障における重みなし故障リストと重み付

き故障リストの一例を示す図である。

【図3】ブリッジ故障における重みなし故障リストと重み付き故障リストの一例を示す図である。

【図4】テストパターン（ストロブ・ポイント）を選別する処理フローを示す図である。

【図5】縮退故障とブリッジ故障の相関関係を考慮した場合のブリッジ故障における重みなし故障リストと重み付き故障リストの一例を示す図である。

【図6】ブリッジ故障の一例を示す図である。

【図7】従来のテストパターン（ストロブ・ポイント）選別装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

- 1 Iddq故障シミュレータ
- 2 重み付けツール
- 3 テストパターン（ストロブ・ポイント）選別ツール
- 1 a 縮退故障リスト
- 1 b ブリッジ故障リスト
- 1 c テストパターン
- 1 d 制約条件
- 2 a 縮退故障の検出・未検出リスト
- 2 b ブリッジ故障の検出・未検出リスト
- 2 c 縮退故障重みリスト
- 2 d ブリッジ故障重みリスト
- 3 a 重み付き縮退故障リスト
- 3 b 重み付きブリッジ故障リスト
- 3 c 重み情報
- 4 a 縮退故障の重み付き検出・未検出リスト
- 4 b ブリッジ故障の重み付き検出・未検出リスト
- 4 c 選別結果

【図2】

縮退故障リスト：重みなしの場合

ノード名			
/123/lacd/boox/A[6]	sa0	U	
/1146/lswa/DX	sa1	D	
P135	sa0	D	
/ldata/lzzy/luazxx/112/zdak	sa0	U	



縮退故障リスト：重み付きの場合

ノード名			重み
/123/lacd/boox/A[6]	sa0	U	Wsa1
/1146/lswa/DX	sa1	D	Wsa2
P135	sa0	D	Wsa3
/ldata/lzzy/luazxx/112/zdak	sa0	U	Wsa4

【図3】

Bridge故障リスト：重みなしの場合

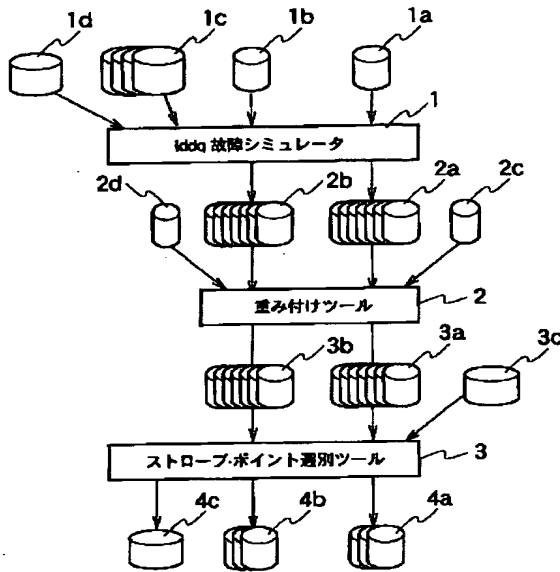
ノード名の組		
P23 /122/leee/ityz/AD[9]		U
/1391/ldzz/lrst/bcd[6] /1146/lswa/DX		D
/lrst/lqoe/117/ZX /126/xyz		D
/1125/lfgh/dout3 /ldata/lzzy/luazxx/112/tiu		U



Bridge故障リスト：重み付きの場合

ノード名の組		重み
P23 /122/leee/ityz/AD[9]	U	Wbr1
/1391/ldzz/lrst/bcd[6] /1146/lswa/DX	D	Wbr2
/lrst/lqoe/117/ZX /126/xyz	D	Wbr3
/1125/lfgh/dout3 /ldata/lzzy/luazxx/112/tiu	U	Wbr4

【図 1】



【図 5】

Bridge故障リスト：重みなしの場合
ノード名の組

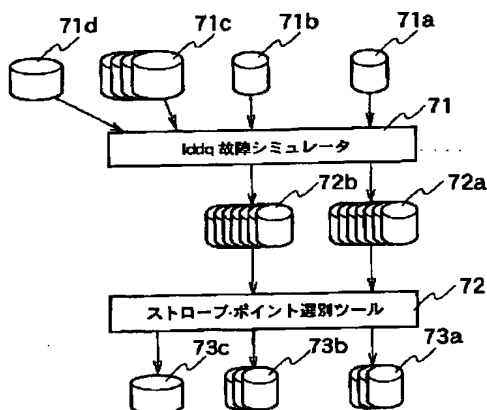
P23 /l22/leee/ltyz/AD[9]	0	U
/l391/ldzz/lrst/bcd[6] /l146/lswa/DX	1	D
/lrst/lqge/l17/ZX /l26/xyz	1	D
/l125/lfgh/dout3 /ldata/lzy/lwazxc/l12/tiu	0	U



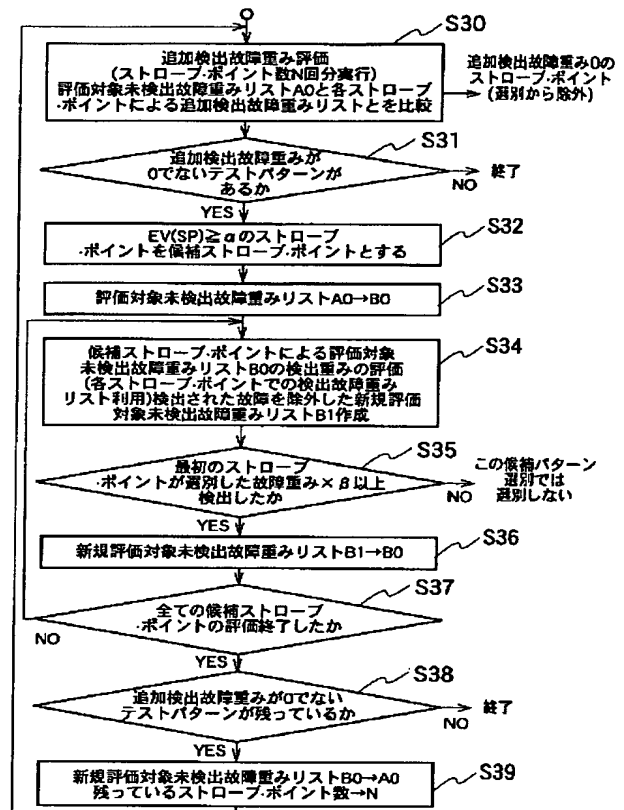
Bridge故障リスト：重み付きの場合
ノード名の組

		重み
P23 /l22/leee/ltyz/AD[9]	0	U
/l391/ldzz/lrst/bcd[6] /l146/lswa/DX	1	D
/lrst/lqge/l17/ZX /l26/xyz	1	D
/l125/lfgh/dout3 /ldata/lzy/lwazxc/l12/tiu	0	U

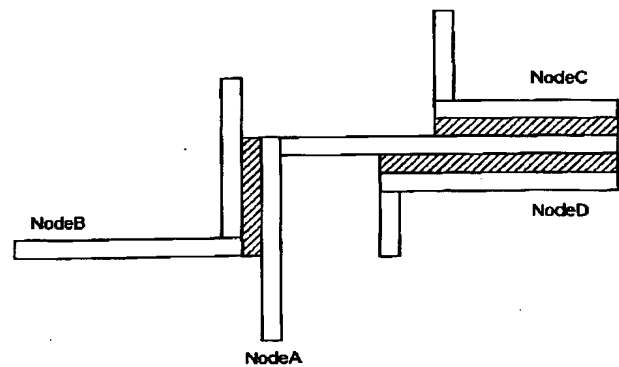
【図 7】



【図 4】



【図 6】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テーマコード (参考)
// G 0 6 F 17/50	6 7 0	H 0 1 L 21/82	C

Fターム (参考) 2G132 AG01
5B046 AA08 BA09 JA04
5F038 DT06 DT11 DT15 EZ10 EZ20
5F064 BB02 BB31 BB33 CC12 EE08
EE19 HH09